

### **Мікрохвильовий пристрій для аналізу емісійних властивостей живого білку**

Винахід відноситься до техніки вимірювання мікрохвильового випромінювання вкрай високих частот (ВВЧ) і може бути використано для аналізу емісійних властивостей живого білку, який визначає життєдіяльність різних істот, спільність і цілість харчових продуктів з великим строком біологічного досягання (тверді сири, копченості, вина, фрукти та ін.).

Одним з проявів білку, який входить до складу живих істот і рослин є електромагнітне випромінювання ВВЧ (міліметрові хвилі), інтенсивність котрих визначається активністю біологічних процесів у клітинах тварин і рослин. Рівень цього випромінювання дуже малий ( $10^{-10}$  -  $10^{-12}$  Вт) і може бути порівняний з рівнем радіотеплового випромінювання тіл у діапазоні КВЧ (див. Девятков Н. Д., Голант М. Б., Бецкий О. В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. - М. Радио и связь, 1991,- 168 с).

Справа в тому, що від будь-якого нагрітого до деякої температури тіла виходить широкий спектр теплового випромінювання. Смуга частот з найбільшою інтенсивністю випромінювання для тіл з температурою 20-40 °С лежить в інфрачервоній (ІЧ) області електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Однак, ІЧ випромінювання від внутрішніх структур біологічних тканин екранується поверхневими структурами (шкіра, плівка, кожура та ін.). Випромінювальна спроможність будь-яких нагрітих тіл в мікрохвильовому діапазоні підкоряється закону Релея-Джинса  $B = 2j^2 k T \pi C^2$ ,

де:  $\nu$  - частота,  $k$  - постійна Больцмана,  $T$  - температура,  $J_3$  - коефіцієнт випромінювання,  $C$  - швидкість світла в вакуумі.

Біологічні тканини, що містять живий білок, володіють електромагнітною емісією нетеплового характеру в діапазоні ВВЧ (30... 500 ГГц). Джерелом електромагнітної емісії є акустoeлектричні процеси у мембранах клітин, що відбивають взаємодію білкових молекул і

структур всередині клітин. Малі розміри клітин, особливо, їхніх мембран, у порівнянні з довжиною хвиль, що випромінюються (міліметри), приводить до того, що щільність когерентних електромагнітних хвиль, що випромінюються клітинами, вже на малій відстані від їхньої поверхні знижується в багато раз, причому це зниження супроводжується стохастизацією випромінювання. В результаті когерентне випромінювання окремих клітин перетворюється в шумове ЕМВ, що додається до вхідного радіотеплового ЕМВ, яке також має шумовий характер. Тому для аналізу емісійних властивостей живого білка необхідно вимірювати слабе біоінформаційне ЕМВ в діапазоні ВВЧ на фоні більш потужного радіотеплового випромінювання. При цьому сумарна потужність теплового і біоінформаційного випромінювання на декілька порядків менш потужності власних шумів сучасної електронної вимірювальної апаратури.

Відомий мікрохвильовий пристрій для аналізу емісійних властивостей живого білка (див. Описание к авторскому свидетельству СССР № 1396020, на "Способ исследования биологических систем", кл. G01N22/00, 1986 г. (Б. и. № 18, 1988), що містить хвилеводну секцію, яка виконана збірною та складається власне з хвилеводу, бруска з прямокутним пазом уздовж нього, в який приміщують рідке біологічне середовище, покритишки і двох погоджуючих клинів. Брусок, покритишка і погоджуючи клини виконані з радіопрозорого матеріалу і після заповнення пазу біологічним середовищем герметично вставляються у хвилевід, що підключається до СВЧ тракту, після чого проводяться виміри.

До недоліків відомого пристрою слід віднести необхідність попередньої підготовки проби, трудомісткість приміщення зразка, що досліджується, у хвилеводну секцію, неможливість аналізу суцільних біологічних об'єктів. Крім того, при багаторазовий розборці хвилеводної секції для розміщення в ній нових зразків неминуче виникнення похибок, зумовлених неточністю зборки, відмінністю фізико-механічних характеристик самих зразків.

Відомий також мікрохвильовий пристрій для аналізу емісійних властивостей живого білка (див Саватеев А. В. Шумовая термометрия. Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское

отделение, 1987, с. 69-70), що містить хвилеводний давач, послідовно з'єднані змішувач, підсилювач проміжної частоти і амплітудний детектор, гетеродин, з'єднаний з другим входом змішувача, послідовно з'єднані підсилювач низької частоти, синхронний детектор, фільтр низьких частот і вольтметр.

Крім того відомий пристрій містить мікрохвильовий перемикач, виконаний у вигляді хвилеводного сегменту з пазом, в якому обертається диск; половина диску заповнена абсорбційним матеріалом і служить джерелом теплового шуму при кімнатній температурі, Пристрій також містить формувач опорної напруги для синхронного детектора і індуктивний давач частоти обертання диску мікрохвильового перемикача, вихід якого з'єднаний з формувачем опорної напруги.

У зв'язку з тим, що температура зразка, який досліджується у хвилеводному датчику неминуче відрізняється від температури матеріалу диску, що обертається, радіотеплове випромінювання матеріалу, який аналізується, повністю не компенсується. Тому вихідна напруга пристрою, яка вимірюється вольтметром, залежить не тільки від емісійних властивостей матеріалу, що аналізується (біоінформаційного ЕМВ), але і від його тепловипромінювальних властивостей. Крім того, вихідна напруга залежить також від маси матеріалу, який досліджується, оскільки потужність ЕМВ визначається не тільки інтенсивністю біохімічних процесів в клітках живих структур, але і їхньою кількістю.

Задачею винаходу є створення такого пристрою для аналізу емісійних властивостей живого білку, який шляхом введення в його схему нових блоків і зв'язків забезпечив би компенсування радіотеплового випромінювання зразка і власних шумів елементів вимірювального тракту, завдяки чому підвищиться вірогідність аналізу емісійних властивостей білку.

Поставлена задача вирішується тим, що в мікрохвильовий пристрій для аналізу емісійних властивостей живого білку, який містить перший хвилеводний давач, послідовно з'єднані змішувач, підсилювач проміжної частоти і амплітудний детектор, гетеродин,

з'єднаний з другим входом змішувача, послідовно з'єднані підсилювач низької частоти, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і вольтметр, згідно винаходу, введені другий хвилеводний давач, який знаходиться в безпосередньому тепловому контакті з першим хвилеводним давачем, керований відгалужувач і циркулятор, перший вхід якого з'єднаний з виходом керованого відгалужувача, вхід якого підключений до виходу першого хвилеводного давача, другий вхід циркулятора з'єднаний з виходом другого хвилеводного давача, вихід циркулятора підключений до першого входу змішувача, а також від'ємник, джерело постійної напруги, логарифматор і низькочастотний мультивібратор, при цьому вихід логарифматора з'єднаний з входом підсилювача низької частоти, вхід з'єднаний з виходом від'ємника, перший вхід якого з'єднаний з виходом амплітудного детектора, другий вхід з'єднаний з джерелом постійної напруги, вихід низькочастотного мультивібратора з'єднаний з керуючими входами керованого відгалужувача і синхронного детектора.

Введення в схему пристрою другого хвилеводного давача, в якому можна розмістити аналогічний матеріалу, що аналізується, зразок, але з неживим білком, дозволяє повністю компенсувати радіотеплове випромінювання зразка. Керований відгалужувач, що управляється від низькочастотного мультивібратора, разом з двовходовим циркулятором забезпечують по чергові подання ВВЧ сигналів від першого і другого хвилеводних давачів на вхід гетеродинного перетворювача частоти спектру ЕМВ. Введення компенсуючого блоку з від'ємника і джерела напруги, дозволяє виключити вплив власних шумів гетеродинного перетворювача частоти спектру на значення напруги, що вимірюється. Наявність логарифматору на виході компенсуючого блоку дає можливість вимірювати відношення потужності емісійного випромінювання до потужності радіотеплового випромінювання зразка, який аналізується, що виключає вплив його маси на результат аналізу. Це дозволяє з більш високою вірогідністю визначати емісійні властивості живого білку.

На кресленні показана функціональна схема пристрою для аналізу емісійних властивостей живого білка.

Пристрій містить перший 1 (робочий) і другий 2 (опорний) хвилеводні давачі, виходи яких з'єднані зі входами керованого відгалужувача 3 і циркулятора 4 відповідно. До виходу циркулятора підключені послідовно з'єднані змішувач 5 з гетеродином 6, підсилювач проміжної частоти 7, амплітудний детектор 8, від'ємник 9 з джерелом постійної напруги 10, логарифматор 11, підсилювач 12 низької частоти, синхронний детектор 13, фільтр 14 нижніх частот і вольтметр 15. Низькочастотний мултивібратор 16 з'єднаний з керуючими входами керованого відгалужувача 3 і синхронного детектора 13. В робочому давачі 1 розміщені зразок, що аналізується 17 і поглинач 18, в опорному давачі датчик 2 розміщені поглинач 19 і імітаційний зразок 20. Робочий 1 і опорний 2 давачі виконані у вигляді двох відрізків хвилеводів, механічно з'єднаних одне з одним. Вихід керованого відгалужувача 3 з'єднаний з першим входом циркулятора 4, а його другий вхід підключений до виходу другого хвилеводного давача.

Пристрій для аналізу емісійних властивостей живого білка працює таким чином.

Радіотеплове і біологічне випромінювання від робочого хвилеводного давача 1, в якому розміщений біологічний зразок, що аналізується, надходить в смузі ВВЧ на вхід керованого відгалужувача 3, до виходу якого підключений першим входом циркулятор 4. Радіотеплове випромінювання опорного хвилеводного давача 2 з імітаційним зразком 20 неживого білку, який знаходиться в безпосередньому тепловому контакті з робочим давачем, надходить на другий вхід циркулятора 4. Керований відгалужувач 3 виконаний на р-і-п діодах і працює по принципу повного відбивання, коли на його керуючий вхід подана напруга. Періодична зміна режиму керованого відгалужувача (відбиває - пропускає) здійснюється прямокутними імпульсами модулюючої напруги, що утворюється низькочастотним мултивібратором 16.

В напівперіод модулюючої напруги низької частоти, коли відгалужувач 3 пропускає випромінювання, на вхід змішувача 5 надходить шумовий сигнал з дисперсією

$t$

(i)

де  $U_{2i}$  - дисперсія радіотеплового випромінювання зразка, що аналізується;  $V_j$  - дисперсія біоінформаційного випромінювання живого білка;  $U_I$  - дисперсія власних шумів змішувача, наведених до його входу;  $K_j$  - коефіцієнт передачі хвильоводного тракта.

В цьому стані керованого відгалужувача 3 шумовий сигнал з виходу опорного хвильоводного давача 2 минає через циркулятор 4, відкритий керований відгалужувач 3 і надходить до робочого хвильоводного давача 1, в якому поглинається навантаженням 18.

В наступний напівперіод модулюючої напруги, коли керований відгалужувач 3 закритий і повністю відбиває випромінювання, шумовий сигнал з виходу робочого хвильоводного давача 1 відбивається і поглинається навантаженням 18. В той же час вихідний сигнал опорного хвильоводного давача 2 проходить через циркулятор 4, відбивається від закритого керованого відгалужувача 3 і знов через циркулятор 4 надходить на вход змішувача 5. Дисперсія вхідного сигналу змішувача приймає значення

•

(2)

де  $U_{22}$  - дисперсія радіотеплового випромінювання імітаційного зразка.

При періодичній роботі керованого відгалужувача 3 з частотою  $Q$  низькочастотного мультівібратора 16 на вході змішувача 5 формується модульований по амплітуді сигнал, який складається з пакетів шумових сигналів з дисперсіями (1) і (2). З урахуванням реального співвідношення складових сигналів (1) і (2), коли  $U^{\wedge})U_2] = 11^{\wedge})111$  ь глибина модуляції вхідного сигналу змішувача 5 мала і представляється виразом

$$\wedge \frac{\text{Ш} - \text{Ш}}{\text{ш} + \text{ш}^2} \quad \underline{\text{Ш}} \quad \textcircled{3}$$

За допомогою сигналу ВВЧ гетеродину 6 спектр мікрохвильового випромінювання переноситься на проміжну різничну частоту  $\&>_0$ , на яку настроєний підсилювач 7 проміжної

частоти. Ширина спектру  $A_{co}$ , що переноситься, визначається смугою пропускання  $L^{\wedge}u_0$  підсилювача проміжної частоти з центральною частотою  $a > u_0$ . В один напівперіод роботи керованого відгалужувача 3 (рис. 1) дисперсія вузькосмугового шумового сигналу на виході підсилювача 7 проміжної частоти

$$E_{\gamma}^2 = K_1 S_1 K_2 [U_2] \{w_0\} + U_1 \{co_0\} + U_1 \{co_0\}, \quad (4)$$

а в інший напівперіод

$$U_{\gamma} = K_1 S_2 K_2 [U_2] \{a_0\} + U_2 \{a > u_0\}, \quad (5)$$

де  $S_1$  - крутість гетеродинного перетворення частоти;

$K_2$  - коефіцієнт підсилення підсилювача проміжної частоти.

Пакети сигналів проміжної частоти  $co_0$  з дисперсіями (4) і (5) по чергово надходять на амплітудний детектор 8 з квадратичною характеристикою. На виході детектора формуються відеоімпульси з амплітудами, пропорційними дисперсії детектуємих сигналів:

$$U_a = S_f K^2 S_2 [U^2 \{a > u_0\} + U_1^2 \{co_0\} + U_2 \{a, u_0\}], \quad (6)$$

$$U_{b2} = X_1^2 S_2^2 X_2^2 S_2 [U_2^2 \{K\} + U_1^2 \{co_0\}], \quad (V)$$

де  $S_2$  - крутість перетворення квадратичного детектора.

Відеоімпульси  $U_{bx}$   $U_{b2}$  по чергово впливають на один вхід від'ємника 9, на інший вхід якого надходить постійна напруга від джерела 10. Постійна напруга  $U_1$  джерела 10 встановлюється з умови компенсації власних шумів змішувача 5, які впливають на глибину модуляції (3),

$$U^2 K_1 S_1 K_1 S_1 U_1^2 \{a\}. \quad (8)$$

При виконанні умови (8) амплітуди відеоімпульсів на виході від'ємника приймають значення:

$$U_n = K_f S_2 K^2 S_2 K_1 [U_1^2 \{co_0\} + U_2^2 \{a, u_0\}], \quad (9)$$

$$U_{12} = K f S t K \} S_2 K_3 U l \{ c o 0 \} , \quad (10)$$

де  $K_b$  - коефіцієнт передачі від'ємника.

Після функціонального перетворення відеоімпульсів в логарифматорі 11 їхні амплітуди приймають остаточний вигляд:

$$U_{92} = S, \ln [K l S l K^2 S_2 K M \{ < O o \} ] > \quad (12)$$

де  $S_3$  - крутість логарифмічного перетворення,

Глибина амплітудної модуляції послідовності відеоімпульсов збільшується і з урахуванням рівності  $U_2 = U_{22}$  приймає значення

$$\ln \frac{j f 2.1}{2r} \quad (13)$$

Підсилювачем 12 низької частоти з послідовності відеоімпульсів (12) виділяється і посилюється змінна складова частоти  $Q$  з амплітудою

$$2 \quad 2 \quad \frac{\ddot{I} I + I \dot{I}}{u}$$

де  $K^{\wedge}$  - коефіцієнт підсилення підсилювача 12 низької частоти.

Вираз (14) можна представити у вигляді

$$\text{-----}$$

що можна розкласти в статечний ряд

$$U_2 / (c o_0) \quad J \quad (15)$$



Потужність біоінформаційного випромінювання значно менш потужності радіотеплового випромінювання ( $Uf < \{f/2\}^2$ ). Тому другим і наступними членами ряду (15) можна зневажити. Тоді напруга

(іб)

Напруга  $\mathcal{E}/10$  випрямляється синхронним детектором 13, який управляється прямокутною напругою мультівібратора 16, і згладжується фільтром 14 нижніх частот. Вихідна постійна напруга вимірюється вольтметром 15.

З виразу (16) слідує, що показання вольтметра 15 пропорційні відношенню потужностей біоінформаційного і радіотеплового випромінювань

(17)

де  $a$  - показання вольтметра 15;  $K_Q = S_b K_4$  - коефіцієнт пропорційності.

Відношення потужностей

---

21

і є мірою емісійних властивостей живого білка, бо це відношення не залежить від маси зразка, що досліджується, а визначається інтенсивністю біохімічних процесів в живих організмах і рослинних тканинах.

Незалежність емісійного коефіцієнта  $\mathcal{U}$  від маси пояснюється тим, що потужність як біоінформаційного так і радіотеплового випромінювань пропорційна кількості матеріалу, що аналізується. Крім того, відношення потужностей, що вимірюється, не залежить від передавальних властивостей хвилеводних давачів і з'єднуючих хвилеводів ( $K_l$ ), непостійності крутості гетеродинного перетворення спектру сигналів, що порівнюються

( $S_1$ ), нестабільності коефіцієнта підсилення виборчого підсилювача проміжної частоти ( $K_2$ ), чутливості амплітудного детектора ( $S_2$ ) і коефіцієнта передачі від'ємника ( $K_b$ ).

Коефіцієнт пропорційності  $K_o$  залежить тільки від стабільності низькочастотних блоків схеми і визначається в процесі калібровки по зразках мікроорганізмів, емісійна спроможність яких оцінюється по результатах біохімічних досліджень. Імітаційний зразок готується з біологічної тканини такої ж маси, як і зразок, що досліджується. Знеживлення білка в імітаційному зразку здійснюється його нагрівом до температури 80... 90°, при якій відбувається зварювання білка.

Додаткове виділення тепла, пов'язане з біохімічними процесами в матеріалах і тканинах з живим білком, призводить до деякого підвищення температури робочого давача. Завдяки гарному тепловому контакту давачів 1 і 2 температури робочого і опорного давачів врівноважуються. Так саме компенсується вплив непостійності зовнішньої температури на рівень радіотеплового випромінювання зразка, що досліджується і імітаційного зразка. Компенсуюча напруга (8) встановлюється при порожніх хвилеводних давачах 1 і 2 по відсутності різницевої напруги на виході від'ємника 9.

Дослідження показали, що дозрівання таких харчових продуктів, як тверді сири, супроводжується зростанням емісійного випромінювання. При цьому емісійний коефіцієнт  $\eta_j$  збільшується до 0.05... 0.1 (5 - 10% від радіотеплового випромінювання) після 70 - 80 днів дозрівання. Подальше витримування сиру призводить до втрати смакових, живильних і інших властивостей продукту і супроводжується зменшенням емісійного коефіцієнта до 0.01 (менш 1% від радіотеплового випромінювання), а в подальшому і до нуля. Останнє свідчить про

загибель живого білка в продукті.

Продюктор Д. П. П. з наукової роботи

Заст.

нейрохір.

ектор інституту

урії ім. ак.

А. П. Ромоданова

№ 02011930

Інститут нейрохірургії

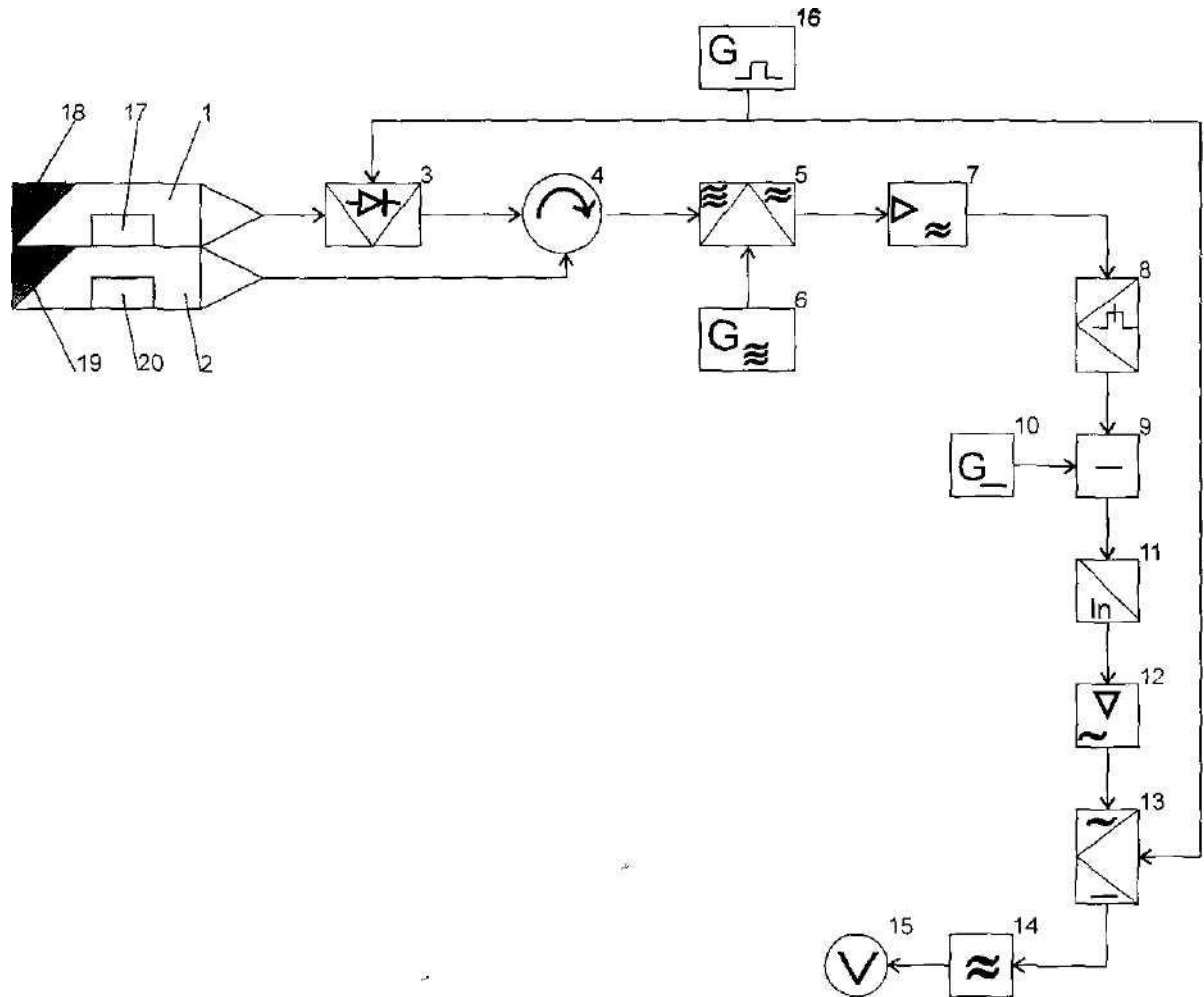
М. Київ

Академія медичних наук України

М.П.

С.А.Ромод

Мікрохвильовий пристрій для аналізу  
емісійних властивостей живого білку



Автори"      Скрипник Ю О  
Шевченко К Л  
Цим бал юк В І.